

論文の要旨

能力調整を考慮したジョブショップスケジューリングに関する研究

A Study on Job Shop Scheduling with Capacity Adjustment

氏 名 與田 光伸

近年、顧客の要求の多様化に加えて納期遵守の要求が非常に強く、納期遵守を達成するための方策として残業による能力調整が実施されている。残業は生産環境の変動に柔軟に対応できる一方、経費の増大や労働環境の悪化を引き起こすため、できる限り抑制することが求められる。これまで納期遵守を目的としたスケジューリングの研究は数多くあるが、残業による能力調整を考慮した研究は少なく、さらに、納期遵守を前提とし残業時間を最小化することを目的とした研究はほとんど見られない。

そこで本研究では、顧客の多様な要求に対応可能であるジョブショップ型の生産システムにおいて、納期遵守と残業時間最小化を目的としたスケジューリング問題を扱い、これに対する効率的なスケジュール探索手法を提案する。このスケジューリング問題では、ジョブの処理順序に加えて各機械でどれだけ残業を行うかを決定する必要がある。ほとんどのジョブショップスケジューリング問題におけるジョブの処理順序の決定は、その組合せ数の莫大さから NP 困難なクラスに分類され、さらに残業時間の追加を行う場合、納期遵守と残業時間最小化のトレードオフ関係によってより複雑となる。本スケジューリング問題では、十分に大きな残業時間を許可した状態で納期遵守を達成し、これを維持しながら残業時間最小化を行うが、残業時間を最小化する過程でこのトレードオフ関係により生じる納期遅れの再発を如何に防止できるかが重要なポイントである。本研究では、スケジュール探索に遺伝的アルゴリズム (GA) を適用し、さらに、ジョブの処理順序と残業時間の決定の双方に対して納期遅れジョブの再発を強力に防止できる問題固有の知識である優先規則を組み込むことで、高性能なスケジューリングを実現できることを示す。本論文の 6 章から構成され、その要点は以下の通りである。

第 1 章では、まず本研究の目的を述べる。さらに、さまざまなジョブショップスケジューリング法を踏まえた本研究におけるスケジューリング法の位置づけの説明、および残業を考慮した従来の研究の紹介を行い、本研究の意義を明確にする。

第 2 章では、本スケジューリング問題の定式化と GA を用いた基本的なスケジュール探索手順について述べる。本スケジューリング問題ではジョブの処理・搬送を行う正規の稼働時間帯、必要に応じて能力を追加を行うことができる残業時間帯、ジョブの処理・搬送を行わない非稼働時間帯で構成されるシフトが複数繋がる生産環境を想定する。GA では、各ジョブ・各工程に対してジョブの処理順序を決定するジョブ選択遺伝子と、各シフト・各機械に対して残業時間を決定する残業時間決定遺伝子を実数値を用いてコーディングし、複数個の個体を生成する。これら個体はデコーディングによりスケジュールに変換される。デコーディングは、ジョブ選択遺伝子の値をジョブの優先度とした遅れなしスケジューリングによってジョブの処理順序を決定することで行われる。また、残業時間遺伝子の値に比例した時間だけ残業時間帯で残業が許可され、その範囲でジョブの処理・搬送が行われた時間だけ残業が実施されたとする。デコーディングにより得られたスケジュールの総納期遅れ時間を第一目的、総残業時間（各シフト、各機械で実施された残業時間の総和）を第二目的とし、辞書式ランキング法により複数の個体を順位付けし、交叉・突然変異を施すことでスケジュールが探索される。

第 3 章では、第 2 章で述べた GA によるジョブの処理順序の決定に対し、固有知識を利用することでさらに効率的な探索を行う方法について述べる。具体的には、GA のジョブ選択遺伝子の値とある優先規則から算出される優先度を掛け合わせた値を用いてジョブ選択を実行する。これにより、汎用的手法である GA のジョブの処理順序の決定に対して、問題固有の知識を反映させた探索を行うことが可能となる。本スケジューリング問題で

は、残業時間最小化探索において納期遵守と残業時間最小化のトレードオフ関係により生じる納期遅れの再発を如何に防止できるかが重要なポイントであるが、導入する優先規則に、納期遅れジョブの再発を強力に防止できる $(CR^\beta + SPT)$ ルールと $((SL/RPN)^\beta + SPT)$ ルールを提案し、適用することで高性能なスケジューリングを行う。これら優先規則はジョブの納期への切迫度によってジョブ選択優先度が高くなるが、この優先度の上昇率を調整できる機能であるパラメータ β を適切に設定することで再発する納期遅れを強力に防止する。また、 $((SL/RPN)^\beta + SPT)$ ルールは、納期までの処理待ち機会数を考慮しより正確に納期までの切迫度を評価することで納期遅れの再発を防止する機能を向上させることを狙った優先規則である。数値実験により GA に $(CR^\beta + SPT)$ ルールと $((SL/RPN)^\beta + SPT)$ ルールを融合し、さらに、パラメータ β を適切に設定することでより短い探索時間で納期を遵守しつつ残業時間を短縮できることを確認した。

第4章では、残業時間の決定に対しても GA による探索に優先規則を導入することで効率的探索を実現する。具体的には、ジョブが残業時間帯での処理が必要かどうかをジョブの納期への切迫度を評価する優先規則で判断することとし、残業決定遺伝子を閾値として位置づけることで、残業時間の決定を行う。これにより、ジョブの処理順序決定と残業時間決定の双方に対して納期遅れジョブの再発を強力に防止できる固有知識が反映され、両者の整合性がとれた探索が可能となることで、より高性能なスケジューリングを行うことができる。数値実験により高い探索性能を実現できることを確認した。

第5章では、これまで提案してきたスケジュール探索手法の最適性の評価を実施する。この最適性の評価はラグランジュ緩和法により探索された下界値と比較することで行われる。このため、ラグランジュ緩和法によって良い下界値が得られやすい総残業時間を定義し評価を行った。数値実験ではシフト数、機械台数等で問題規模が異なる問題、および、時間分解能が異なる問題を用いて評価を実施した。その結果、提案した GA と優先規則の融合によるスケジューリング手法の性能は、問題規模が大きくなるほど、また高時間分解能な問題になるほど、ラグランジュ緩和法で求めた下界値との差が広がる傾向をもつが、問題規模が小さい問題や時間分解能が粗い問題においては高性能な解を得ることができることを確認した。

第6章で、各章で得られた結論を総括する。